

УДК 004.4:681.3.07

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТРИКИ ЛЕВЕНШТЕЙНА В ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОДПИСИ

Е.А.Семенихина

Введение. На сегодняшний день для аутентификации пользователя в компьютерных системах традиционно используется система учетной записи с паролем. Также существует менее распространённый способ с применением специализированных устройств. Оба способа проигрывают способу аутентификации по биометрическим характеристикам человека тем, что биометрический признак пользователя невозможно предъявить без его обладателя [1,2].

Среди методов биометрической идентификации наиболее интересны динамические – основанные на поведенческой, динамической характеристике человека и особенностях, характерных для подсознательных движений в процессе воспроизведения какого-либо действия [2,3]. Они имеют ряд преимуществ перед статическими методами (например, по отпечатку пальца или по рисунку сосудов глазного дна). Методы идентификации по динамическим признакам не требуют дорогостоящего или редкого оборудования эти признаки сложнее фальсифицировать.

Из биометрических технологий в компьютерных системах уже около десяти лет используют системы аутентификации личности по динамике написания подписи, так как данный метод сочетает в себе приемлемую стоимость и надежность. Однако многие вопросы идентификации личности по динамике воспроизведения подписи остаются нерешенными. В частности, известные способы формирования системы признаков основаны на использовании ортогональных базисных функций [3,4], при этом не исследовано применение различных метрик для сопоставления с образцом. Не исследованы методики анализа и формализованного описания траектории движения пера с точки зрения проведения биометрической идентификации. Недостаточно проработаны вопросы снижения влияния на результат идентификации нелинейных искажений сигналов почерка, неизбежно возникающие в связи с естественной вариативностью воспроизведения рукописного слова.

Постановка задачи. Проблему сопоставления динамической подписи с образцом можно разбить на несколько задач:

1. Разбиение подписи на сегменты;
2. Вычисление характеристик для каждого сегмента;
3. Выбор метрики для сопоставления локальных характеристик каждого сегмента;
4. Выбор стратегии сопоставления.

В данной статье будем опираться на описание траектории движения пера через последовательность отклонений, предложенное ранее [5]. Тогда, в качестве разбиения используется деление на отрезки, полученные за равные промежутки времени $t = 1..N$. Для каждого отрезка в качестве первичной характеристики используется угол отклонения от предыдущего направления движения φ_t (см. рис.1).

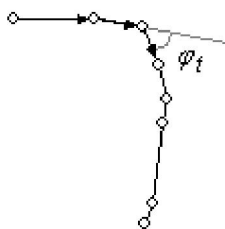


Рис. 1. Определение последовательности отклонений

В статье решается задача получения характеристик подписи по первичным характеристикам φ_t , а также выбора метода сопоставления подписи с образцом.

Использование нечётких моделей для получения характеристик подписи. Введём лингвистическую переменную $\langle \text{"Угол_отклонения"}, T, (-180; 180) \rangle$, где терм-множество имеет вид:

$$T = \{\tau_i\}_{i=1..K} = \{-157^0, -135^0, -112^0, -90^0, -67^0, -45^0, -22^0, 0^0, 22^0, 45^0, 67^0, 90^0, 112^0, 135^0, 157^0\} \quad (1)$$

Значения τ_i лингвистической переменной «Угол отклонения» из терм-множества T описываются нечёткими переменными с соответствующими наименованиями $\langle \tau_i, (-180;180), \Phi_{\sim i} \rangle$, где нечёткое

множество $\Phi_{\sim i}$ имеет вид:

$$\Phi_{\sim i} = \{ \varphi | \mu_{\Phi_{\sim i}}(\varphi) \} \quad (2)$$

Вид функций принадлежности, описывающих значения лингвистической переменной «Угол отклонения», приведен на рис. 2.

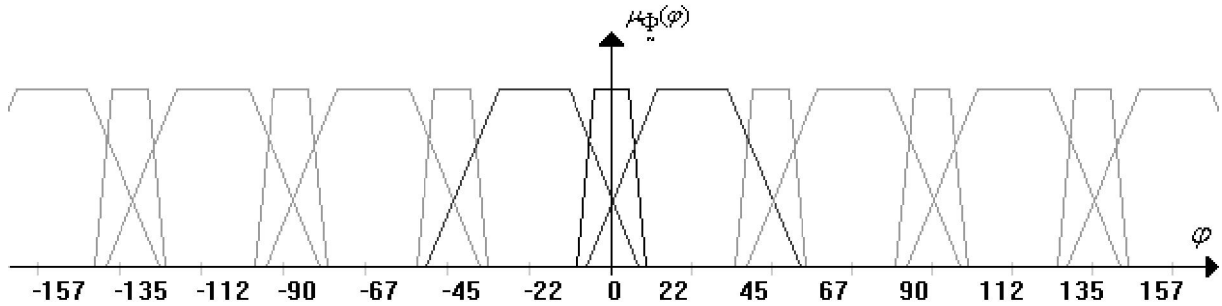


Рис. 2. Нечеткие множества для 15 видов отклонений

Введем 15 сенсоров, отвечающие за реакцию на каждый из 15 видов отклонения. В качестве характеристики нечеткой активности сенсора будем использовать нечеткое множество, определенное на универсальном множестве – нормированное значение активности с трапециевидной функцией принадлежности:

$$\begin{aligned} \Theta_{\sim i} &: \{ \theta | \mu_{\Theta_{\sim i}}(\theta), \forall \theta \in [-1, +1] \} \\ \mu_{\Theta_{\sim i}}(\theta) &: (a, b, c, d) \\ b &= c = 2\mu_{\Phi_{\sim i}}(\theta) - 1 \\ a &= b - \Delta_a \\ d &= b + \Delta_d \end{aligned} \quad (3)$$

Рассмотрим активность i -го сенсора момент времени t . Пусть его нечёткая характеристика активности $\Theta_{\sim i,t}$ с координатами функции принадлежности $(\alpha, \beta, \gamma, \delta)$, тогда как в образце предусмотрена

активность $\Theta_{\sim i,t}^o (\alpha^o, \beta^o, \gamma^o, \delta^o)$. Будем судить о степени схожести с образцом путем расчета нечёткого множества, характеризующего близость $\Theta_{\sim i,t}' (\alpha', \beta', \gamma', \delta')$ [5]:

$$\begin{aligned} \alpha' &= \begin{cases} \beta' - |MAX(\Delta a, \Delta a^o)|, & \text{если } \beta' - |MAX(\Delta a, \Delta a^o)| > -1 \\ -1, & \text{в противном случае} \end{cases}, \\ \beta' &= 1 - MAX(|\beta - \beta^o|, |\gamma - \gamma^o|), \\ \gamma' &= 1 - MIN(|\beta - \beta^o|, |\gamma - \gamma^o|), \\ \delta' &= \begin{cases} |\gamma' + MAX(\Delta d, \Delta d^o)|, & \text{если } |\gamma' + MAX(\Delta d, \Delta d^o)| < +1 \\ +1, & \text{в противном случае} \end{cases}, \end{aligned} \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned}\Delta a &= \beta - \alpha, \\ \Delta d &= \delta - \gamma, \\ \Delta a^o &= \beta^o - \alpha^o, \\ \Delta d^o &= \delta^o - \gamma^o.\end{aligned}$$

Итоговую степень схожести образца и кривой Θ^{ρ} можно определить функцией принадлежности с параметрами, рассчитываемыми как средние арифметические за все моменты времени по всем сенсорам:

$$\begin{aligned}\alpha^{\rho} &= \frac{1}{KN} \sum_{t=1}^N \sum_{i=1}^K \alpha'_{i,t}, \\ \beta^{\rho} &= \frac{1}{KN} \sum_{t=1}^N \sum_{i=1}^K \beta'_{i,t}, \\ \gamma^{\rho} &= \frac{1}{KN} \sum_{t=1}^N \sum_{i=1}^K \gamma'_{i,t}, \\ \delta^{\rho} &= \frac{1}{KN} \sum_{t=1}^N \sum_{i=1}^K \delta'_{i,t},\end{aligned}\tag{5}$$

где N – длина образца, K – количество сенсоров.

Однако такой подход не даёт хороших результатов, поскольку не учитывает естественной вариативности подписи. При машинальном подсознательном воспроизведении слова с определенной частотой появляются новые дополнительные фрагменты подписи, при этом так же могут исчезать (сливаться) ранее разделенные соседние фрагменты. В результате дробление подписи на фрагменты оказывается неоднозначным, и при обучении фиксируется несколько вариантов подписи присутствующих у автора. Эта ситуация с неоднозначной фрагментацией подписи приведена на рисунке 3, где отображены три часто встречающихся у одного автора варианта подписи.

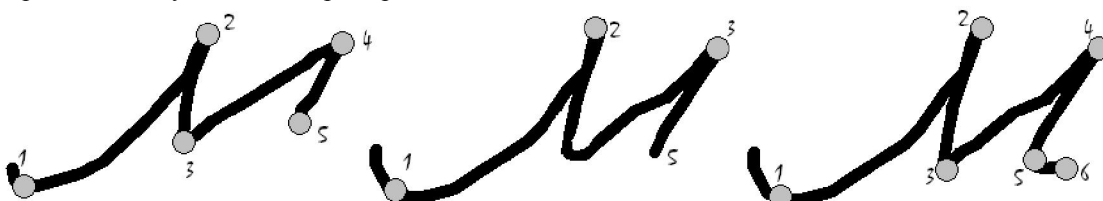


Рис. 3. Три варианта разметки подписи одного автора

Из рисунка видно, что 2-й вариант разметки подписи отличается от 1-го и 3-го меньшим числом выделенных локальных фрагментов: здесь слились в один 3-й фрагмент два фрагмента (3-й и 4-й), присутствующие в других вариантах. Третий вариант разметки, отличается от предыдущих вариантов появлением нового 6-го участка подписи. Из подобной ситуации возможно два выхода. Первый связан с формированием нескольких независимых эталонов, при этом для формирования каждого эталона требуется несколько подписей, что усложняет процесс обучения системы. Второй путь связан с приведением всех вариантов к некоторому усредненному варианту. Такое решение возможно при использовании метрики Левенштейна – меры разницы двух последовательностей символов относительно минимального количества операций вставки, удаления и замены, необходимых для перевода одной строки в другую. Например, для двух последовательностей “mmLmmhm” и “mlmmmHm” расстояние Левенштейна равно 4, т.к. необходимо осуществить 4 операции:

1. Замену “L” на “l”;
2. Замену “h” на “H”;
3. Вставку “m” из позиции после “L”;
4. Удаление “m” из позиции перед “L”;

Использование метрики Левенштейна для сопоставления двух последовательностей. Метрика Левенштейна [6] требует кодирования динамической подписи последовательностью символов $S = \{s_t\}_{t=1..N}$. В нашем случае каждому символу s_t ставим в соответствие одно из значений τ_i лингвистической переменной «Угол отклонения» из терм-множества T по правилу:

$$s_t = \chi(\tau^*), \tau^* : \mu_{\Phi}(\tau^*) = \text{MAX}_{i=1..N}(\mu_{\Phi}(\tau_i)) \quad (6)$$

где $\Phi(\tau_i)$ – нечёткое множество, описывающее значение τ_i лингвистической переменной «Угол отклонения» из терм-множества T (1); $\chi(\tau_i)$ – отношение «один-к-одному».

Метрика Левенштейна для сопоставления последовательности $S = \{s_t\}_{t=1..N}$ с образцом $P = \{p_t\}_{t=1..M}$ рассчитывается по рекурсивной формуле:

$$D(N, M) = \begin{cases} 0, \text{ если } j = 0, k = 0 \\ j, \text{ если } j > 0, k = 0 \\ k, \text{ если } j = 0, k > 0 \\ \text{MIN}(D(j, k - 1) + 1, D(j - 1, k) + 1, D(j - 1, k - 1) + \delta), \text{ если } j > 0, k > 0 \end{cases} \quad (7)$$

где

$$\delta = \begin{cases} 0, \text{ если } p_j = s_k \\ 1, \text{ если } p_j \neq s_k \end{cases}$$

Для принятия решения, совпадает ли росчерк с образцом предложено использовать следующую формулу:

$$I = \begin{cases} 0, \text{ если } \frac{D(N, M)}{M} > L \\ 1, \text{ если } \frac{D(N, M)}{M} \leq L \end{cases}, \quad (8)$$

где I – решение ($I = 1$ – «совпадает» $I = 0$ – «не совпадает»); $D(N, M)$ – расстояние Левенштейна для последовательностей экземпляра и образца; M – длина образца; N – длина проверяемого экземпляра; L – некоторый порог, $0 < L < 1$.

Следует заметить, что такой подход даст неудовлетворительные результаты в случае, когда расстояние Левенштейна невелико, но разница в росчерке и образце существенная. Однако при написании росчерка может быть допущена всего одна существенная ошибка, например, резкое отклонение движения пера не вправо, а влево, в результате чего будет допущена ошибка второго рода (допущен «чужой»). Для устранения такой проблемы предложено ужесточить условие принятия решения следующим образом:

$$I = \begin{cases} 0, \text{ если } \frac{D(N, M)}{M + 1} > L \text{ или } \frac{d(n, m)}{m + 1} > l \\ 1, \text{ если } \frac{D(N, M)}{M + 1} \leq L \text{ и } \frac{d(n, m)}{m + 1} \leq l \end{cases}, \quad (9)$$








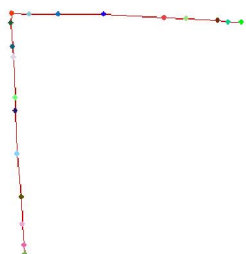
где $d(n, m)$ – расстояние Левенштейна для сокращенных последовательностей для экземпляра и образца; m – длина сокращенной последовательности для образца; l – некоторый порог, $0 < l < 1$.

Сокращенные последовательности получаются удалением всех символов, кроме наиболее существенных. Т.е. такой подход требует предварительного отбора существенных значений лингвистической переменной «Угол отклонения» из терм-множества T , а также предварительной обработки по получению сокращенной последовательности.

Описание компьютерного эксперимента. В ходе компьютерного эксперимента был получен набор тестовых образцов, приведенный в таблице 1.

Таблица 1

Образцы, занесенные в базу данных

Название образца	Код	Изображение
S	787667877878a7	
Квадрат по часовой стрелке	77867778778777	
Квадрат против часовой стрелки	7776777767776777	
Окружность по часовой стрелке	8888688788	
Окружность против часовой стрелки	666676766776	
Птичка	887775768	
Угол	77877	
Угол обратный	76777	

Здесь код получен по отношению, приведенному в табл. 2.

Для каждого образца проводились серии сопоставлений с пользовательскими подписями следующих видов:

1. Идентичные с образцом.
2. Похожие на образец, но не идентичные по какому-либо признаку.
3. Абсолютно произвольные подписи, в качестве которых использовались идентичные другим образцам подписи.

Последовательность отклонений считывалась посредством манипулятора мышь, после чего она кодировалась по формулам, описанным выше (1), (2), (6).

Отношение $\chi(\tau_i)$ приведено в таблице 2.

Таблица 2

Отношение символов к значениям лингвистической переменной
«Угол отклонения» из терм-множества T

Значение лингвистической переменной «Угол отклонения»	Символ
-157	0
-135	1
-112	2
-90	3
-67	4
-45	5
-22	6
0	7
22	8
45	9
67	a
90	b
112	c
135	d
157	e

Среди этих символов существенными считались все, кроме символа «7», соответствующего значению лингвистической переменной «Угол отклонения» "0".

Значения порогов L и l были выбраны по формулам (10) и (11) соответственно:

$$L = \frac{M - 1}{2(M + 1)} \tag{10}$$

$$l = \frac{m - 1}{2(m + 1)} \tag{11}$$

Выводы. Образцы, состоящие только из линейных сегментов (такие как «Угол», «Угол обратный», «Квадрат по часовой стрелке», «Квадрат против часовой стрелки»), или только из однообразных криволинейных («Окружность по часовой стрелке», «Окружность против часовой стрелки», «Птичка») идентифицируются легко. На таких образцах получается невысокий процент ошибок первого (отвергнуть «своего») и второго рода (пропустить «чужого»): соответственно 0.1 и 0.01.

Образец, состоящий из сложной комбинации криволинейных и линейных сегментов («S»), идентифицируется плохо. Ошибка первого рода составляет около 0.9. Подобные образцы, во-первых, сложно повторить с помощью манипулятора мышь. Во-вторых, в составлении сокращённого кода для подобных образцов мы сталкиваемся с проблемой выявления наиболее существенных фрагментов, поскольку слабое отклонение не так существенно, как резкое, но всё же имеет значение по сравнению с нулём. Не хватает вариативности в выявлении существенных фрагментов, поэтому целесообразно ввести нечёткую меру важности (существенности) фрагмента подписи, чтобы понизить ошибку первого рода при идентификации сложных криволинейных образцов.

РЕЗЮМЕ

У статті вирішується задача ідентифікації динамічного підпису в системах аутентифікації за допомогою пристроїв рукописного вводу. Запропоновано застосування метрики Левенштейна для порівняння підпису зі зразком. Підпис представляється послідовністю відхилень векторів напрямку руху в площині XY. У зв'язку з особливостями

вихідних даних класичний алгоритм обчислення метрики Левенштейна не можливий. Це пов'язане з тим, що значення відхилень не належать певному алфавіту, як вимагає того алгоритм, а є дійсними числами. Тому пропонується попередня обробка вихідних даних до потрібного виду, із застосуванням нечітких моделей. Для придушення впливу випадкових шумів на результат зіставлення пропонується використання комбінації рішень по повній і скороченій послідовності відхилень. У скорочену послідовність входять тільки найбільш істотні фрагменти. Комп'ютерний експеримент показав задовільний результат ідентифікації класу простих зразків. Але в результаті експерименту були виявлені проблеми даного підходу у випадку ідентифікації більш складних зразків. Доцільне використання нечіткої характеристики важливості фрагментів для ідентифікації складних зразків.

SUMMARY

The problem of the dynamic signature identification in systems of authentication with hand-written input devices is considered in this article. Usage of the Levenshtein metrics for comparison of the signature with the sample is offered. The signature is represented with sequence of deviations of vectors of a direction of movement in plane XY. The classical algorithm of calculation of the Levenshtein metrics is not possible due to input data features. The algorithm needs deviation values belonging to the certain alphabet. But it is a sequence of real numbers. Preprocessing of input data to the necessary sort and using of fuzzy models is offered. Author offers usage of a combination of solutions on the complete and reduced sequence of deviations in order to suppress casual noise influence on result of comparison. The most essential fragments enter into the reduced sequence only. Computer experiment has shown good result of identification on a class of simple samples. But there are some problems in the approach in case of identification of more difficult samples. Usage of the fuzzy characteristic of importance of fragments for identification of difficult samples is expedient.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Иванов А.И. Биометрическая идентификация личности по динамике подсознательных движений. Монография. / А.И. Иванов; Пензенский государственный университет – Пенза: ПГУ, 2000. – 188 с.
2. Чердниченко И.Н. Построение системы биометрической идентификации / И.Н. Чердниченко// Программные продукты и системы. – 2007. – №2.
3. Ложников П. С. Разработка метода идентификации личности по динамике написания слов: Дис. канд. техн. наук: 05.13.01 / П.С. Ложников – Омск, 2004 – 97 с.
4. Сорокин И.А. Алгоритм выделения признаков описания локальных особенностей динамики воспроизведения подписи / И.А. Сорокин // Тезисы докладов Третьей Всероссийской научно-технической конференции «Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов», 24-25 мая 2005, Пенза – С.80-84.
5. Семенихина, Е.А. О нечетких моделях в задаче идентификации процессов / А.А. Каргин, Е.А. Семенихина // Системные технологии: Региональный межвузовский сборник научных трудов – Днепропетровск, ДНВП, 2008. – Вып. 6 (59). – С. 91-98.
6. Левенштейн В.И. Элементы теории кодирования / В.И. Левенштейн // Дискретная матем. и матем. вопросы кибернетики. – М.: Наука, 1974. – С. 207-305.

Поступила в редакцию 14.12.2009 г.